6 种饲料原料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白的小肠消化率

赵连生[1,2]　牛俊丽[2]　徐元君[2]　王　芳[2]　郑　琛[1]　李发第[1]　郭江鹏[3*]　卜登攀[2]

(1.甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州　730070；2.中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，动物营养学国家重点实验室，北京　100193；3.北京市畜牧总站，北京　100193)

摘　要：本试验旨在研究新疆地区玉米青贮、棉籽壳、苜蓿草粉、苜蓿干草、葡萄籽粕、蕃茄酱渣 6 种奶牛饲料原料的瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质（RUP）的小肠消化率（Idg）。选用 3 头装有永久性瘤胃瘘管的泌乳荷斯坦奶牛，采用尼龙袋法和改进三步体外法测定饲料原料的干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）的瘤胃降解特性以及 RUP 的 Idg 和小肠可消化粗蛋白质（IDCP）含量。结果表明：1）苜蓿草粉和玉米青贮的 DM 有效降解率最高，显著高于次之的苜蓿干草、番茄酱渣（$P<0.05$），葡萄籽粕、棉籽壳最低，显著低于其他原料（$P<0.05$）；CP 有效降解率为番茄酱渣>苜蓿草粉>玉米青贮>苜蓿干草>棉籽壳>葡萄籽粕，各原料间差异显著（$P<0.05$）；NDF 有效降解率为玉米青贮>苜蓿草粉>棉籽壳>苜蓿干草>番茄酱渣>葡萄籽粕，各组饲料原料间差异显著（$P<0.05$）；ADF 有效降解率为玉米青贮>棉籽壳>苜蓿干草>番茄酱渣>苜蓿草粉>葡萄籽粕，各组饲料原料间差异显著（$P<0.05$）。2）苜蓿草粉 RUP 的 Idg 和小肠可消化粗蛋白质（IDCP）含量最高，Idg 显著高于依次降低的苜蓿干草、玉米青贮、番茄酱渣、葡萄籽粕、棉籽壳（$P<0.05$），IDCP 含量与苜蓿干草差异不显著（$P>0.05$），显著高于依次降低的玉米青贮、番茄酱渣、葡萄籽粕、棉籽壳（$P<0.05$）。综上所述，不同饲料原料具有不同的瘤胃降解特性，进入小肠 IDCP 的效率也不同。玉米青贮的 DM、NDF 和 ADF 在瘤胃的有效降解率较高，苜蓿草粉 RUP 的 Idg 较高，苜蓿草粉和苜蓿干草的 IDCP 含量较高。

关键词：饲料原料；瘤胃降解率；瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率

中图分类号：S816

新疆的畜牧业发展迅速，是我国重要的畜产品生产区。与发达的畜牧业相比，饲料资源匮乏，成为限制新疆畜牧业发展的因素之一。玉米青贮、苜蓿草粉和苜蓿干草是奶牛养殖业

收稿日期：2016-12-05
基金项目：国家科技支撑计划课题（2012BAD43B01）；国家自然科学基金(31560646)
作者简介：赵连生（1979-），北京人，博士，主要从事粗饲料营养与评价研究。E-mail: aaronann@163.com
*通信作者：郭江鹏，高级畜牧师，E-mail: guojp72@163.com

中常用的饲料原料；棉籽壳、葡萄籽粕和蕃茄酱渣是非常规饲料原料，其在新疆来源丰富。探索其营养价值，使其在畜牧业养殖中有效的利用，不仅可以充分利用农业副产品，减少浪费和污染，还可解决饲料资源匮乏问题，达到增产增效充分利用资源的目的。

饲料营养物质在瘤胃中的降解特性是评定奶牛饲料营养价值的重要指标[1]，刁其玉等[2]和么学博等[3]发表了常用饲料的瘤胃降解率，对实际生产具有重要的指导意义。此外，饲料中蛋白质的含量和利用效率也是评价饲料营养价值的重要指标，在新蛋白质体系中除瘤胃降解率外，瘤胃非降解蛋白质在小肠的消化率是衡量饲料小肠可吸收蛋白质供给情况的一个关键指标[3]。目前，国内奶牛饲料 RUP 的小肠消化率（Idg）的相关报道甚少，中国《奶牛饲养标准》（NY/T 34-2004）缺乏饲料 RUP 十二指肠消化率的相关数据，且并未考虑饲料来源和加工方式等因素的差异。本试验采用尼龙袋技术研究 6 种奶牛饲料原料营养成分在瘤胃中的降解规律，并采用改进三步体外法研究饲料原料 RUP 的 Idg，以期为合理利用这几种饲料资源提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验动物及饲粮

选择北京中地种畜奶牛科技园试验基地的 3 头体重相近，泌乳日龄相同，健康且装有永久性瘤胃瘘管的荷斯坦奶牛为试验动物，饲养试验于北京中地种畜奶牛科技园试验基地进行。基础饲粮参照 NRC（2001）[4]奶牛营养需要进行配制，其精粗比为 40：60，其组成及营养水平见表 1。日喂 3 次（07：30、13：00 和 19：30），自由饮水。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
羊草 Chinese wild rye	3.7
苜蓿干草 Alfalfa hay	28.4
玉米青贮 Corn silage	26.7
玉米 Corn	22.6
豆粕 Soybean meal	11.8
全棉籽 Whole Cottonseed	5.1
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.6
食盐 NaCl	0.5
预混料 Premix[1)]	0.6
合计 Total	100.0

营养水平 Nutrient levels2)	
干物质 DM	55.8
粗蛋白质 CP	16.7
粗脂肪 EE	2.2
中性洗涤纤维 NDF	44.2
酸性洗涤纤维 ADF	26.1
粗灰分 Ash	7.7
钙 Ca	0.82
磷 P	0.31
泌乳净能 NE_L/(MJ/kg)	4.07

1) 每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following:VA 2 000 000 IU,VD 600 000 IU,VE 10 800 mg,Fe 5 500 mg,Cu 4 080 mg,Mn 4 989 mg,Zn 17 500 mg,I 180 mg,Se 110 mg,Co 8 805 mg。

2) 泌乳净能为计算值[5]，其他为实测值。NE_L was a measured value[5], while the others were calculated values.

1.2 试验材料

葡萄籽粕、玉米青贮、番茄酱渣、棉籽壳、苜蓿草粉、苜蓿干草共 6 种饲料原料，其中葡萄籽粕、玉米青贮、番茄酱渣、棉籽壳收集于新疆石河子，苜蓿草粉和苜蓿干草收集于新疆塔城，苜蓿草粉比苜蓿干草含有更多的苜蓿叶。样品 65 ℃烘干制成风干样，过 40 目筛后备用，6 种饲料原料的营养成分见表 2。

表 2 6 种饲料原料的营养成分（干物质基础）

Table 2 Nutrient composition of six feed ingredients (DM basis) %

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls
干物质 DM	95.57	17.92	89.88	95.77	24.20	93.10
粗蛋白质 CP	13.21	19.90	19.90	11.29	7.48	4.94
粗脂肪 EE	2.95	13.94	0.97	0.93	1.79	1.48
粗灰分 Ash	5.04	4.24	11.54	7.57	7.55	3.20
中性洗涤纤维 NDF	76.52	60.04	45.18	62.13	59.75	87.73
酸性洗涤纤维 ADF	69.90	55.26	33.21	50.55	40.94	68.34

1.3 试验方法

1.3.1 尼龙袋法测定瘤胃发酵特性

选用孔径 50 μm 的尼龙布，裁成 17 cm×13 cm 的长方块，对折，用涤纶线缝双道，制成 8 cm×12 cm 的尼龙袋。袋底部、两角呈圆形，散边用烙铁烫平，65 ℃烘干至恒重（48 h），备用。称取 2.5 g 样品放入已知质量的尼龙袋中。同一饲料原料同一瘘管牛设 4 个平行（共

3 头牛）。于晨饲后 2 h 将装有样品的尼龙袋同时投入瘤胃腹囊中，分别于 2、6、12、24、48、72 h 将尼龙袋取出用自来水冲洗至水清，65 ℃烘干至恒重（48 h）（0 h 时间点的尼龙袋不放入瘤胃中，仅用水冲洗至水清，65 ℃烘干至恒重备测[6]，作为空白对照）。

1.3.2 改进三步体外法测定 RUP 的 Idg

参照 Gargallo 等[7]改进三步体外法（MTSP）的原理和方法，称取 5 g 饲料原料放入尼龙袋，经瘤胃消化 12 h 后（同一饲料原料同一瘘管牛 4 个平行，共 3 头牛），取出尼龙袋，清洗至水清后将尼龙袋放在 0.1%甲基纤维素溶液中，37 ℃振荡培养 30 min，取出尼龙袋并清洗干净，于 55 ℃烘箱内烘干至恒重（48 h），为瘤胃降解残渣样品，测定 CP 的含量。

称取 1 g 残渣装入尼龙袋（5 cm×10 cm），封口，将尼龙袋装入 Daisy Ⅱ培养瓶中，每瓶最多可放入 30 个尼龙袋（将同一饲料原料的 6 个平行放在同一个培养瓶中）。培养瓶中为 2 L 含有 1 g/L 胃蛋白酶（P-7000,Sigma）的 pH=1.9 的盐酸溶液，溶液提前预热。将培养瓶放在 ANKOM Daisy Ⅱ体外模拟发酵培养箱，39 ℃旋转培养 1 h。取出尼龙袋并清洗干净，加入 2 L 预热的含有 3 g/L 胰蛋白酶（P-7545,Sigma）和 50 μg/L 百里香酚的 0.5 mol/L 磷酸盐缓冲液。并将培养瓶放在 ANKOM Daisy Ⅱ体外模拟发酵培养箱，39 ℃旋转培养 24 h。取出尼龙袋并清洗至水清，55 ℃烘箱内烘至恒重（48 h），为模拟小肠消化后的残渣样品，测定 CP 的含量。

1.4 测定指标

样品中干物质（DM）、粗蛋白质（CP）和粗灰分（Ash）含量分别参照 GB 6435-86、GBAT 6432-94、GB 6438-92 的方法进行测定，中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）含量按照 Van Soest 等[8]的方法测定。

1.5 计算公式

1.5.1 瘤胃降解率

用于计算饲料原料营养成分不同时间点的降解率公式为：

被测营养成分某时间点的降解率(%)=100×（降解前袋内该营养成分的含量－降解后袋内该营养成分的含量）/降解前袋内该营养成分的含量。

1.5.2 瘤胃降解参数

饲料原料营养成分在瘤胃内的降解参数依据 Ørskov 等[9]的指数模型计算:

$$P=a+b(1-e^{-ct})。$$

式中：t 为饲料原料在瘤胃内停留时间（h）；P 为 t 时刻某营养成分的降解率（%）；a 为该营养成分的快速降解部分（%）；b 为营养成分的慢速降解部分（%）；c 为 b 的降解速率（%/h）。

用最小二乘法计算出 a、b 和 c 值，再用下列计算饲料原料成分的有效降解率：

$$ED=a+bc/(c+\mathrm{k})。$$

式中：ED 为有效降解率（%）；k 为饲料原料的外流速度（%/h）。本试验中，牧草和农作物秸秆的 k 值取 0.025 3，糠麸类取 0.039 9[10]，饼、粕类及谷实类均取 k 值为 0.080 0。

1.5.3 RUP 的 Idg 和小肠可消化粗蛋白质（IDCP）

RUP 的 Idg 和 IDCP 含量计算公式如下：

$$\mathrm{Idg}(\%)=100\times(CP_{12\ \mathrm{h}}-CP_{\mathrm{i}})/CP_{12\ \mathrm{h}};$$

$$\mathrm{IDCP(g/kg)=RDP\times0.85\times0.7+RUP\times Idg}\text{[11]}。$$

式中：$CP_{12\ \mathrm{h}}$ 为瘤胃发酵后降解残渣样品中 CP 含量（g/kg）；CP_{i} 为模拟小肠消化后残渣样品中 CP 含量（g/kg）；RDP 为瘤胃降解蛋白质含量（g/kg）。

1.6 数据统计分析

采用 Excel 整理数据，采用 SAS 9.2 软件包中 ANOVA 过程对数据进行分析，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲料原料的瘤胃降解特性

2.1.1 DM 瘤胃降解特性

由表 3 可以看出，随着时间的延长，饲料原料的 DM 瘤胃降解率增加，且各时间点不同饲料原料的 DM 瘤胃降解参数差异较大。2 h 玉米青贮的降解率最高达到 33.81%，6 h 苜蓿草粉降解率最高，为 48.62%，12、24 和 48 h 苜蓿草粉与玉米青贮降解率相同且显著高于其他饲料原料（$P<0.05$），72 h 玉米青贮和苜蓿草粉降解率较高，显著高于依次降低的苜蓿干草、番茄酱渣、棉籽壳、葡萄籽粕（$P<0.05$），其中玉米青贮和苜蓿草粉差异不显著（$P>0.05$）。

从饲料原料 DM 瘤胃降解参数可以看出，6 种饲料原料的快速降解部分含量不同，苜蓿草粉 DM 快速降解部分含量最高，玉米青贮次之，但二者差异不显著（$P<0.05$），棉籽壳的

DM 快速降解部分含量最低，为 9.05%。棉籽壳的慢速降解部分含量显著高于其他饲料原料（P<0.05），不利于动物利用，葡萄籽粕最低，为 19.49%。苜蓿草粉和玉米青贮的有效降解率显著高于其他饲料原料（P<0.05），番茄酱渣和苜蓿干草次之，这二者差异不显著（P>0.05），葡萄籽粕和棉籽壳较低，这二者差异不显著（P>0.05）。

表 3　6 种饲料原料干物质瘤胃降解率及降解参数

Table 3　DM ruminal degradability and parameters of six feed ingredients　　%

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls	SEM
干物质瘤胃降解率 Ruminal degradability of DM							
2 h	18.21^{c}	23.96^{b}	32.39^{a}	24.56^{b}	33.81^{a}	11.41^{d}	1.72
6 h	23.11^{b}	25.76^{b}	48.62^{a}	26.56^{b}	46.30^{a}	12.78^{c}	2.84
12 h	26.81^{c}	34.83^{b}	55.85^{a}	34.22^{b}	55.85^{a}	14.63^{d}	3.11
24 h	31.64^{c}	50.26^{b}	64.29^{a}	48.96^{b}	64.29^{a}	26.4^{c}	2.92
48 h	34.16^{c}	53.37^{b}	69.58^{a}	55.40^{b}	69.95^{a}	30.04^{d}	3.27
72 h	34.41^{e}	54.64^{c}	69.95^{a}	60.04^{b}	70.58^{a}	40.34^{d}	2.85
干物质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of DM							
a[1)]	17.82^{c}	20.50^{b}	30.29^{a}	21.90^{b}	27.96^{a}	9.05^{d}	1.61
b[2)]	19.49^{c}	39.21^{bc}	42.65^{b}	42.19^{b}	44.47^{b}	60.46^{a}	1.96
c/(%/h)[3)]	0.04^{b}	0.04^{b}	0.06^{a}	0.03^{b}	0.07^{a}	0.01^{c}	0.01
a+b[4)]	37.31^{d}	59.72^{c}	72.95^{a}	64.09^{b}	72.44^{a}	69.51^{a}	2.55
有效降解率 ED	29.94^{c}	44.86^{b}	60.64^{a}	46.09^{b}	60.54^{a}	28.28^{c}	2.84

[1)] a 为快速降解部分，[2)] b 为慢速降解部分，[3)] c 为慢速降解部分的降解速率，[4)] a+b 为潜在可降解部分。下表同。

[1)] a was rapidly degraded proportion, [2)] b was slowly degraded proportion, [3)] c was the degradation speed of slowly degraded proportion, 4) a+b was potentially degradable proportion. The same as below.

同行数据肩标相同字母表示差异不显著(P＞0.05)，不同字母表示差异显著(P＜0.05)。下表同。

In the same row , values with the same letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

2.1.2　CP 瘤胃降解特性

由表 4 可以看出，随着时间的延长，饲料原料的 CP 瘤胃降解率增大。番茄酱渣在 2 h 的 CP 瘤胃降解率最高（P<0.05）；苜蓿草粉在 12、24、48 和 72 h 的 CP 瘤胃降解率均显著高于其他饲料原料（P<0.05），其蛋白质品质优于其他饲料原料；棉籽壳在各个时间点的 CP 瘤胃降解率均为最低（P<0.05），72 h 降解率仅为 34.90%，其所含蛋白质营养价值偏低。

玉米青贮 CP 快速降解部分含量显著高于依次降低的番茄酱渣、苜蓿干草、苜蓿草粉、葡萄籽粕和棉籽壳（P<0.05）。苜蓿草粉的慢速降解部分含量最高，为 59.62%，葡萄籽粕次之，二者差异显著（P<0.05），番茄酱渣的慢速降解部分含量最低，为 17.61%。番茄酱渣和苜蓿草粉有效降解率较高，葡萄籽粕最低，为 39.57%，6 种饲料原料 CP 的有效降解率差异显著（P<0.05）。

表 4　6 种饲料原料的粗蛋白质瘤胃降解率及降解参数

Table 4　CP ruminal degradability and parameters of six feed ingredients　　%

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls	SEM
粗蛋白质瘤胃降解率 Ruminal degradability of CP							
2 h	29.00^{e}	49.43^{a}	28.36^{d}	34.16^{c}	43.76^{b}	4.13^{f}	1.72
6 h	45.23^{c}	47.14^{b}	56.40^{a}	37.64^{e}	42.97^{d}	6.28^{f}	2.84
12 h	53.98^{b}	50.85^{c}	67.32^{a}	40.35^{e}	50.27^{d}	16.45^{f}	3.11
24 h	67.27^{b}	60.36^{c}	80.92^{a}	58.01^{d}	57.94^{e}	26.95^{f}	2.92
48 h	72.23^{b}	61.81^{e}	82.92^{a}	63.74^{d}	64.39^{c}	34.15^{f}	3.29
72 h	72.92^{b}	62.48^{e}	84.93^{a}	68.41^{c}	65.28^{d}	34.90^{f}	2.85
粗蛋白质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of CP							
a	24.10^{e}	48.01^{b}	25.99^{d}	39.07^{c}	48.80^{a}	3.72^{f}	3.74
b	49.86^{b}	17.61^{f}	59.62^{a}	42.62^{c}	25.78^{e}	37.70^{d}	3.66
c/(%/h)	0.09^{c}	0.05^{e}	0.12^{a}	0.10^{b}	0.02^{f}	0.05^{d}	0.01
a+b	73.96^{d}	65.63^{e}	85.62^{a}	81.69^{b}	74.58^{c}	41.42^{f}	3.29
有效降解率 ED	39.57^{f}	77.30^{a}	71.34^{b}	56.06^{d}	66.02^{c}	55.35^{e}	3.42

2.1.3　NDF 瘤胃降解特性

由表 5 可以看出，玉米青贮在各个时间点的 NDF 瘤胃降解率均显著高于其他饲料原料（P<0.05），其 12 h 的 NDF 瘤胃降解率为 64.12%，这说明玉米青贮的 NDF 降解主要集中在前 12 h。除 2 和 6 h 番茄酱渣 NDF 瘤胃降解率最低外，其他各个时间点均为葡萄籽粕 NDF 瘤胃降解率均最低。

玉米青贮 NDF 的快速降解部分含量显著高于其他饲料原料（P<0.05），为 44.34%，番茄酱渣最低为 12.14%，各饲料原料间差异显著（P<0.05）。苜蓿干草 NDF 的慢速降解部分含量最高，为 45.90%，葡萄籽粕最低，仅为 9.60%。玉米青贮 NDF 的有效降解率最高，为 68.60%，苜蓿草粉、棉籽壳、苜蓿干草、番茄酱渣和葡萄籽粕依次降低，葡萄籽粕仅为 25.19%。

表 5　6 种饲料原料的中性洗涤纤维瘤胃降解率及降解参数

Table 5　NDF ruminal degradability and parameters of six feed ingredients　　　　%

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls	SEM
中性洗涤纤维瘤胃降解率 Ruminal degradability of NDF/%							
2 h	18.80^{e}	17.98^{f}	30.78^{c}	26.65^{d}	48.56^{a}	39.43^{b}	2.65
6 h	23.16^{e}	19.72^{f}	37.53^{c}	27.91^{d}	57.98^{a}	42.44^{b}	3.15
12 h	24.53^{f}	28.25^{e}	41.80^{c}	39.32^{d}	64.12^{a}	45.31^{b}	3.29
24 h	24.97^{f}	40.88^{e}	49.04^{b}	44.96^{d}	71.14^{a}	48.74^{c}	3.33
48 h	27.63^{f}	43.64^{e}	58.72^{b}	56.41^{c}	74.76^{a}	51.47^{d}	3.44
72 h	27.35^{f}	45.01^{e}	54.40^{c}	59.04^{b}	76.73^{a}	52.14^{d}	3.57
中性洗涤纤维瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameters of NDF							
a	19.02^{e}	12.14^{f}	29.09^{c}	21.85^{d}	44.34^{a}	37.48^{b}	2.67
b	9.60^{f}	33.90^{b}	29.80^{d}	45.90^{a}	31.61^{c}	16.36^{e}	2.87
c/(%/h)	0.04^{e}	0.06^{b}	0.05^{c}	0.03^{f}	0.08^{a}	0.03^{e}	0.01
a+b	28.62^{f}	46.04^{e}	58.89^{c}	67.75^{b}	75.94^{a}	53.85^{d}	3.7
有效降解率 ED	25.19^{f}	35.96^{e}	48.34^{b}	44.94^{d}	68.60^{a}	46.48^{c}	3.2

2.1.4　ADF 瘤胃降解特性

由表 6 可以看出，玉米青贮在各个时间点的 ADF 瘤胃降解率均显著高于其他饲料原料（P<0.05），72 h 瘤胃降解率为 66.04%，棉籽壳 2、6、12 h 的 ADF 瘤胃降解率均仅次于玉米青贮，棉籽壳与葡萄籽粕 ADF 瘤胃降解率分别在 22.25%~38.56%与 11.11%~22.47%变化。苜蓿草粉 2 h 的 ADF 瘤胃降解率最低（P<0.05），苜蓿干草在 6 和 12 h 最低（P<0.05）。24、48 和 72 h 的 ADF 瘤胃降解率最低的为葡萄籽粕，72 h 的 ADF 的瘤胃降解率仅为 22.47%。

棉籽壳 ADF 的快速降解部分含量显著高于其他饲料原料（P<0.05），玉米青贮次之，苜蓿草粉最低，仅为 1.66%。玉米青贮的 ADF 有效降解率显著高于其他饲料原料（P<0.05），葡萄籽粕的 ADF 有效降解率最低，为 18.33%，其他饲料原料均在 30%左右。

表 6　6 种饲料原料的酸性洗涤纤维瘤胃降解率及降解参数

Table 6　ADF ruminal degradability and parameters of six feed ingredients　　　　%

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls	SEM
酸性洗涤纤维瘤胃降解率 Ruminal degradability of ADF/%							
2 h	11.11^{c}	10.88^{d}	5.83^{f}	9.84^{e}	24.93^{a}	22.25^{b}	1.68
6 h	14.89^{d}	12.77^{e}	15.02^{c}	11.39^{f}	38.67^{a}	26.11^{b}	2.34

12 h	15.19^{e}	22.04^{c}	20.83^{d}	13.13^{f}	47.64^{a}	28.96^{b}	1.49
24 h	17.87^{f}	35.77^{b}	30.68^{e}	32.35^{d}	57.88^{a}	34.71^{c}	2.87
48 h	20.77^{f}	38.76^{d}	43.83^{c}	46.43^{b}	63.17^{a}	37.20^{e}	3.06
72 h	22.47^{f}	40.25^{d}	47.97^{c}	49.65^{b}	66.04^{a}	38.56^{e}	3.19
酸性洗涤纤维瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameter of ADF							
a	11.62^{c}	4.53^{d}	1.66^{f}	3.94^{e}	18.77^{b}	20.29^{a}	1.77
b	11.46^{f}	36.84^{d}	39.93^{c}	56.40^{a}	46.13^{b}	18.38^{e}	3.75
c/(%/h)	0.04^{e}	0.06^{d}	0.06^{b}	0.03^{f}	0.08^{a}	0.06^{c}	0.01
a+b	23.09^{f}	41.36^{d}	41.60^{c}	60.35^{b}	64.89^{a}	38.67^{e}	3.4
有效降解率 ED	18.33^{f}	30.41^{d}	29.68^{e}	32.31^{c}	54.18^{a}	33.13^{b}	2.58

2.2 6 种奶牛饲料原料 RUP 的 Idg 和 IDCP

由表 7 可以看出，不同饲料原料 RUP 的 Idg 存在差异，IDCP 也不尽相同。苜蓿草粉 RUP 的 Idg 以及 IDCP 均显著高于其他饲料原料（P<0.05），苜蓿干草和玉米青贮的 RUP 的 Idg 次于苜蓿草粉，苜蓿干草的 IDCP 与苜蓿草粉差异不显著（P>0.05），葡萄籽粕和棉籽壳 RUP 的 Idg 及 IDCP 均较低，且差异不显著（P>0.05）。结果说明，6 种饲料原料中，苜蓿草粉、苜蓿干草和玉米青贮为小肠提供的 CP 较多。

表 7 6 种奶牛饲料原料 RUP 的 Idg 和 IDCP

Table 7 Idg of RUP and IDCP of six feed ingredients

项目 Items	葡萄籽粕 Grape seed meal	番茄酱渣 Tomato sauce residue	苜蓿草粉 Alfalfa meal	苜蓿干草 Alfalfa hay	玉米青贮 Corn silage	棉籽壳 Cottonseed hulls	SEM
小肠消化率 Idg/%	23.68^{e}	32.14^{d}	78.11^{a}	64.61^{b}	57.18^{c}	19.34^{e}	0.10
小肠可消化粗蛋白质 IDCP/(g/kg)	39.64^{d}	53.29^{c}	64.83^{a}	64.60^{a}	58.71^{b}	41.58^{d}	3.67

3 讨 论

3.1 6 种饲料原料的营养成分

本试验发现，苜蓿草粉 CP 含量较高，NDF、ADF 以及 EE 含量均较低，而苜蓿干草 CP 含量与之相比较少，纤维物质（NDF、AND）含量较高，EE 含量二者接近。这可能是因为苜蓿草粉多为苜蓿叶，苜蓿干草多为苜蓿杆。葡萄籽粕 DM 和 CP 含量与刘华[12]测得葡萄籽粕中 DM（95.61%）和 CP 含量（12.20%）接近。杜道全等[13]对葡萄籽粕的研究结果表明，奶牛饲粮中添加 1%~4%的葡萄籽粕，能够提高奶牛的生产性能。本试验测定棉籽壳的 CP、NDF、ADF 的含量与院江[14]测得 CP（6.20%）、NDF（81.31%）、ADF 含量（65.13%）接近。番茄酱渣 CP、NDF 和 ADF 含量均较高，比刘华[12]测得的结果略高，可能是由于饲

料原料产地不同等因素造成的。贾海军[15]测得玉米青贮CP、NDF和ADF含量分别为10.32%、48.65%和 21.58%，本试验测得的玉米青贮 CP 含量低于其测定值，而 NDF 和 ADF 含量均较高，饲料原料营养价值的差异与地理环境，种植方式，加工贮存方式等有关。从常规养分含量初步判断番茄酱渣、苜蓿草粉和苜蓿干草的饲用价值较葡萄籽粕、玉米青贮和棉籽壳高。

3.2　6 种饲料原料的瘤胃降解规律

DM 瘤胃降解率与 DM 采食量存在正相关关系，在一定时间内 DM 瘤胃降解率越高，奶牛的 DM 采食量就越大[11]。而且随着时间的延长，DM 在瘤胃中的降解率不断提高。本试验中，苜蓿草粉与玉米青贮在不同时间点的 DM 瘤胃降解率差异不显著，高于其他饲料原料，说明其在瘤胃较易消化，其有效降解率分别为 60.64%和 60.54%。在余梅等[16]和刘华[12]的试验中玉米青贮的 DM 有效降解率分别为 53.07%和 64.70%，这说明饲料原料来源、试验动物品种等都会影响试验结果。本试验中，苜蓿干草的 DM 瘤胃降解率在 24 h 后趋于稳定上升，72 h 达到 60.04%，说明苜蓿干草的 DM 消化主要集中在前 24 h；苜蓿草粉各个时间点的 DM 瘤胃降解率均高于苜蓿干草，说明苜蓿草粉比苜蓿干草更易消化。冷静等[17]报道苜蓿草粉的 DM 瘤胃降解率高于苜蓿干草，与本试验结果一致。番茄酱渣、葡萄籽粕和棉籽壳 72 h DM 瘤胃降解率均低于 60%，但番茄酱渣在各个时间点的 DM 瘤胃降解率均高于葡萄籽粕和棉籽壳，这三者的 DM 有效降解率分别为 44.86%、29.94%、28.28%。这与刘华[12]报道的番茄酱渣、葡萄籽粕、棉籽壳的 DM 有效降解率依次降低相一致。

影响饲料原料 CP 在瘤胃降解率的因素有很多，如饲料原料在瘤胃内滞留时间、发酵的难易程度以及饲料原料本身的特性等。本试验中番茄酱渣 CP 的有效降解率最高，达到 77.30%，苜蓿草粉次之，有效降解率为 71.34%，这可能与其二者原样含有较高的 CP 含量有关，冷静等[17]认为牧草 CP 含量高有利于 CP 的降解。本试验中玉米青贮 CP 的瘤胃降解率除 24 h 外，其他时间点均显著高于苜蓿干草，其有效降解率为 66.02%，显著高于苜蓿干草。葡萄籽粕 72 h 的 CP 瘤胃降解率为 72.92%，但其有效降解率仅为 39.57%。棉籽壳在各个时间点的 CP 瘤胃降解率均最低，12 h 之前变化较慢。这可能因为随着植物成熟、老化，木质素含量增加，导致降解缓慢。

饲料的纤维物质降解率是评价饲料营养价值的一个重要指标。饲料中的粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分，主要包括纤维素、半纤维素、木质素、果胶等，这也是饲料众多营养

物质中最难被反刍动物消化吸收的部分[18]。目前，对饲料中纤维物质的研究数据不多，结果也不尽相同[12,16,19]。本试验中玉米青贮 NDF 和 ADF 在各个时间点的瘤胃降解率及有效降解率最高，显著高于苜蓿类饲料原料，与夏科等[20]的试验结果相反，但刘华[12]的试验结果表示苜蓿与玉米青贮的瘤胃降解率没有显著差异。不同产地、不同品种、不同收获时期和加工方式都是引起瘤胃降解率出现差异的原因[21-22]。棉籽壳的降解从发酵初期就很高，随后缓慢提高，说明棉籽壳的降解主要发生在起始 2 h 内。蕃茄酱渣纤维物质的降解在起始时较低，虽然在 72 h 的 NDF 和 ADF 瘤胃降解率较高，但在 24 h 之前一直较低，说明蕃茄酱渣纤维物质的降解主要发生在 24 h 之后。葡萄籽粕的 NDF 和 ADF 瘤胃降解率一直很低。这与刘华[12]的报道相一致。根据降解动态参数可以发现，玉米青贮和苜蓿草粉的营养品质优于其他饲料原料，葡萄籽粕的 NDF 和 ADF 瘤胃降解率较低，不易被反刍动物消化。

3.3　6 种饲料原料 RUP 的 Idg 和 IDCP 含量

小肠对饲料过瘤胃蛋白质部分有较好的吸收能力，过瘤胃蛋白质是小肠可消化蛋白质的良好来源。本试验所得不同饲料 RUP 的 Idg 和 IDCP 含量根据《奶牛营养需要和饲料成分》[11]中相关模型估算而来。本试验中苜蓿草粉和苜蓿干草 CP 含量相对较高，其 RUP 的 Idg 也相应较高，这与陈艳等[19]认为的高蛋白质低纤维的饲料易被小肠消化利用相一致。但是番茄酱渣是一个特例，其原样的 CP 含量与苜蓿草粉相同，NDF 和 ADF 含量较苜蓿草粉与苜蓿干草较高，但其 RUP 的 Idg 却低很多，可能是因为饲料原料蛋白质在瘤胃中大部分已经降解，剩余部分与木质素结合使小肠难以消化。玉米青贮的 RUP 的 Idg 为 57.18%，这在李占臻等[23]研究测得 54.85%~64.93%的范围内。棉籽壳的 RUP 的 Idg 仅有 19.34%，可能与其含有较高含量的粗纤维有关。现在国内对葡萄籽粕的研究较少，国外多集中在葡萄籽粕低聚原花青素的研究。本试验测得葡萄籽粕为小肠提供的 CP 较少，但由于其价格低廉，且其富含的低聚原花青素对有害细菌有明显的抑制和抗诱变作用，具有很好营养补充和防疫保健作用[24]，因此还是较为理想的饲料原料。

Taghizadeh 等[25]认为，为了保持饲料原料在反刍动物体总消化道的消化率，若饲料原料在瘤胃中降解率低，则其在肠道中的消化率就会相对较高。饲料中 40%蛋白质进入小肠消化吸收以满足机体组织代谢的需要[26]，如果蛋白质瘤胃降解率过高则进入小肠的蛋白质不足以满足反刍动物的营养需要[19]，Chalupa 等[27]指出饲粮蛋白质应尽量避免瘤胃降解，为小

肠的消化利用提供充足的氨基酸。饲料 RUP 是从反刍动物蛋白质消化吸收机制、组织细胞代谢和饲料蛋白质在瘤胃降解特性的理论上提出的反刍动物对蛋白质的营养需要和评价饲料的蛋白质含量的指标，所以其具有非常重要的意义。本试验结果表明，苜蓿草粉、苜蓿干草以及玉米青贮的 IDCP 含量较高，对于反刍动物蛋白质营养供给较好。

4 结 论

不同饲料原料具有不同的瘤胃降解特性，进入小肠的 IDCP 的效率也不同。玉米青贮的 DM、CP、NDF 和 ADF 的瘤胃有效降解率较高，苜蓿草粉 RUP 的 Idg 较高，苜蓿草粉和苜蓿干草 RUP 的 IDCP 含量较高。

参考文献：

[1] KAUR R,GARCIA S C,FULKERSON W J,et al.Degradation kinetics of leaves,petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity[J].Animal Feed Science and Technology,2011,168(3/4):165–178.

[2] 刁其玉,屠焰.奶牛常用饲料蛋白质在瘤胃的降解参数[J].乳业科学与技术,2005,27(2):70–74.

[3] 么学博,杨红建,谢春元,等.反刍家畜常用饲料蛋白质和氨基酸瘤胃降解特性和小肠消化率评定研究[J].动物营养学报,2007,19(3):225–231.

[4] National Research Council.Nutrient requirements of dairy cattle[M].7th ed.Washington,DC:National Academy Press,2001.

[5] ALI M,VAN DUINKERKEN G,CONE J W,et al.Relationship between chemical composition and *in situ* rumen degradation characteristics of maize silages in dairy cows[J].Animal,2014,8(11):1832–1838.

[6] 熊本海.国际反刍动物饲料成分及营养价值表[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013.

[7] GARGALLO S,CALSAMIGLIA S,FERRET A.Technical note:a modified three-step *in vitro* procedure to determine intestinal digestion of protein[J].Journal of Animal Science,2006,84(8):2163–2167.

[8] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy

Science,1991,74(10):3583–3597.

[9] ØRSKOV E R,MCDONALD I.The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage[J].The Journal of Agricultural Science,1979,92(2):499–503.

[10] 颜品勋,冯仰廉,王燕兵,等.青粗饲料通过牛瘤胃外流速度的研究[J].动物营养学报,1994,6(2):20–22.

[11] 冯仰廉，陆治年.奶牛营养需要和饲料成分[M].北京：中国农业出版社，2007.

[12]刘华.新疆地区23种饲料营养成分及其瘤胃降解特性比较研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.

[13] 杜道全,杨文华.葡萄籽粕在奶牛日粮中的应用研究[J].河南畜牧兽医,2009(8):28–29.

[14] 院江.棉籽壳发酵脱毒及其奶牛应用效果研究[D].硕士学位论文.石河子:石河子大学,2006:6.

[15] 贾海军.奶牛常用饲草瘤胃降解规律的研究[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2010.

[16] 余梅,毛华明,赵刚,等.肉牛饲料瘤胃降解规律研究[J].黑龙江畜牧兽医,2010(7):64–67.

[17] 冷静,张颖,朱仁俊,等.云南黄牛对6种牧草瘤胃降解规律的研究[J].中国农学通报,2011,27(1):398–402.

[18] 张子仪.中国饲料学[M].北京:中国农业出版社,2000:10.

[19] 陈艳,张晓明,王之盛,等.6种肉牛常用粗饲料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J].动物营养学报,2014,26(8):2145–2154.

[20] 夏科,姚庆,李富国,等.奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J].动物营养学报,2012,24(4):769–777.

[21] 李洋,李春雷,赵洪波,等.不同产地全株玉米青贮的瘤胃降解特性与小肠消化率的研究[J].动物营养学报,2015,27(5):1641–1649.

[22] 苗树君,曲永利,杨柳,等.不同收获期玉米青贮营养成分在奶牛瘤胃内降解率的研究[J].动物营养学报,2007,19(2):172–176.

[23] 李占臻,李晓燕,雷耀庚,等.饲料蛋白在陕北白绒山羊小肠的消化率[J].草业科

学,2014,31(1):173–179.

[24] 刘欣.葡萄籽粕在饲料中的应用研究[J].饲料研究,2011(7):83–84.

[25] TAGHIZADEH A,MESGARAN M D,VALIZADEH R,et al.Digestion of feed amino acids in the rumen and intestine of steers measured using a mobile nylon bag technique[J].Journal of Dairy Science,2005,88(5):1807–1814.

[26] 阎春轩,黄素珍.瘤胃降解蛋白和瘤胃非降解蛋白在反刍家畜日粮中的应用[J].山西农业大学学报,1993,13(4):354–356.

[27] CHALUPA W,SNIFFEN C J.Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle-today and tomorrow[J].Animal Feed Science and Technology,1996,58(1/2):65–75.

Ruminal Degradation Characteristics and Small Intestinal Digestibility of Rumen Undegraded Protein of Six Feed Ingredients

ZHAO Liansheng[1,2] NIU Junli[2] XU Yuanjun[2] WANG Fang[2] ZHENG Chen[1] LI Fadi[1] GUO Jiangpeng[3] BU Dengpan[2]

（1. *Faculty of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China;* 2. *State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China;3. Beijing General Station of Animal Husbandry, Beijing* 100193, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to determine the ruminal degradation characteristics and small intestinal digestibility of rumen undegraded protein (RUP) of six feed ingredients for dairy cows from *Xinjiang* , including corn silage, cottonseed hulls, alfalfa meal, alfalfa hay, grape seed meal and tomato sauce residue. Three lactating Holstein cows fitted with permanent rumen fistulas were selected to estimate the ruminal degradation characteristics of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) and small intestinal digestibility and intestinal digestible crude protein (IDCP) content of RUP by nylon-bag technique and modified three-step *in vitro* method. The results showed as follows:1) DM effective degradability of alfalfa meal and corn silage was higher, which was significantly higher than that

*Corresponding author, senior engineer, E-mail: guojp72@163.com (责任编辑 王智航)

of alfalfa hay and tomato sauce residue ($P<0.05$), and DM effective degradability of grape seed meal and cottonseed hulls was significantly lower than that of the other feed ingredients ($P<0.05$); CP effective degradability showed tomato sauce residue > alfalfa meal > corn silage > alfalfa hay > cottonseed hulls > grape seed meal with significant differences among feed ingredients ($P<0.05$); NDF effective degradability showed corn silage > alfalfa meal > cottonseed hulls > alfalfa hay > tomato sauce residue > grape seed meal, and the differences among feed ingredients were significant ($P<0.05$); ADF effective degradability showed corn silage > cottonseed hulls > alfalfa hay > tomato sauce residue > alfalfa meal > grape seed meal with significant differences among feed ingredients ($P<0.05$). 2) Intestinal digestibility and IDCP content of RUP of alfalfa meal were the highest; intestinal digestibility of alfalfa meal was significantly than that of alfalfa hay, corn silage, tomato sauce residue, grape seed meal and cottonseed hulls ($P<0.05$), which was decreased in order; there was no significant difference of IDCP content of RUP between alfalfa meal and alfalfa hay, which was significantly than that of corn silage, tomato sauce residue, grape seed meal and cottonseed hulls (decreased in order) ($P<0.05$). In conclusion, different feed ingredients have different ruminal degradation characteristics and the efficiency of IDCP prodution. Effective degradability of DM, NDF and ADF of corn silage is higher, intestinal digestibility of RUP of corn silage was the highest, and alfalfa meal and alfalfa hay have higher IDCP content.

Key words: feed ingredient; ruminal degradability; small intestinal digestibility of rumen undegraded protein